

BOLETIN
DEL
INSTITUTO ESPAÑOL
DE OCEANOGRAFIA

Introducción al estudio de la transpa-
rencia del agua del mar



MINISTERIO DE MARINA

MADRID

NUMEROS PUBLICADOS

- 1.—Olegario RODRÍGUEZ MARTÍN y Ramón FERNÁNDEZ CREHUET: «Apuntes para el estudio bionómico de la bahía de Santander».
- 2.—Miguel MASSUTÍ: «Estudio del plancton del puerto de Mahón en el curso de un año (1946)».
- 3.—Miguel MASSUTÍ y Miguel OLIVER: «Estudio de la biometría y biología de la sardina de Mahón (Baleares), especialmente de su alimentación».
- 4.—Buenaventura ANDREU: «Algunos datos sobre la fecundidad de la sardina».
- 5.—Emma BARDÁN DE BELLÓN y Francisco DE P. NAVARRO: «La talla de la sardina en relación con el arte de pesca y con el sexo. Observaciones en Málaga (1940-1947)».
- 6.—Fernando LOZANO: «Notas sobre la biología y biometría de la parrocha o sardina joven de Vigo (*Sardina pilchardus*)».
- 7.—José M.^a NAVAZ: «Nueva contribución al estudio de la anchoa de la costa vasca».
- 8.—Antonio ARÉVALO: «Estudio de la variación en la composición química del jurel, *Trachurus trachurus* (L.)».
- 9.—Fernando LOZANO: «Relación de una campaña de pesca de arrastre en pareja en la costa del Sáhara Español, y noticia sobre los otros tipos de pescas allí practicados».
- 10.—Francisco DE P. NAVARRO: «Los Clupeidos y la Anchoa de las costas españolas en el invierno 1947-1948. Observaciones biométricas y biológicas de los Laboratorios Oceanográficos».
- 11.—José M.^a NAVAZ: «Estudio de la Ría de Pasajes en relación con su producción de moluscos comestibles (Con una carta bionómica)».
- 12.—Antonio FERNÁNDEZ DEL RIEGO: «Iniciación al estudio de la variación estacional del valor alimenticio de la sardina (*Sardina pilchardus* Walb.)».
- 13.—M.^a Jesús DEL VAL y M.^a Dolores GARCÍA PINEDA: «Ensayos de algas marinas industriales».
- 14.—Francisco POGGIO y María MARTÍN RETORTILLO: «Espectro de absorción de los aceites de oliva en la zona ultravioleta».
- 15.—Miguel OLIVER: «Contribución al estudio de la biometría y biología de la faneca, *Gadus luscus*» (L.).
- 16.—Juan Antonio SAMALEA: Exploración del «banco del Xauen», accidente topográfico descubierto frente al Peñón de Vélez de la Gomera.
- 17.—Emma BARDÁN, F. de P. NAVARRO y O. RODRÍGUEZ: «Nuevos datos sobre la sardina del Mar de Alborán (Agosto de 1948 a marzo de 1949)».
- 18.—Campañas del "XAUEN" en 1947 y 1948 en el mar de Alborán y en el Estrecho de Gibraltar.—Registro de operaciones.
- 19.—Luis BELLÓN y Emma BARDÁN DE BELLÓN: «Algunos datos sobre los *Thunnidae* de Canarias».
- 20.—(En preparación).

NOTA: Pedidos y correspondencia al Sr. Secretario del Instituto Español de Oceanografía, Alcalá, 27. Madrid.

**Introducción al estudio de la transparencia
del agua del mar**

INTRODUCCION AL ESTUDIO DE LA TRANSPARENCIA DEL AGUA DEL MAR

por MARIA LUISA GONZALEZ SABARIEGOS

IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE ESTE PROBLEMA

La importancia del estudio de la transparencia del agua, proviene del interés que tiene la iluminación submarina, tanto para la Oceanografía física como para la Biología, problema cuya resolución es de inmediata aplicación en el orden práctico para orientar sobre los lugares y épocas de óptima pesca. Para la Oceanografía física el estudio de la transparencia sirve de medio para obtener la cantidad de energía radiante solar absorbida y convertida en calor en las capas superiores de la hidrosfera, factor interesante en el fenómeno de evaporación. Además, la medida de los coeficientes de extinción nos informa de la pureza óptica de las capas superficiales y, por tanto, de su contenido de materias en suspensión. Estas materias en suspensión las consideramos, siguiendo el criterio de James y Birge como «suspensoides»; definidos como las materias separables del agua por un filtro Berckefeld fino y materias «que atraviesan el filtro» que ellos llaman «color», en las que incluyen sustancias en solución verdadera, así como cuerpos en suspensión demasiado finos para ser retenidos por el filtro.

Los diversos valores de la transparencia informan de la existencia de otros fenómenos: por ejemplo, de la distancia a que llegan en alta mar los sedimentos finos arrastrados por los ríos. Así, el color negruzco de las aguas del Amazonas se prolonga en el Atlántico hasta 80 kilómetros de la desembocadura. También en el Atlántico, al Norte y al Sur del Cabo Nun en la costa Africana, las aguas tienen un color rojizo debido a las arenas del Sahara que lanza el viento a bastante distancia.

Como la luz interviene en la vida y crecimiento de las plantas, para los biólogos el interés del estudio de la transparencia está unido al de la fotosíntesis, primer paso en la producción de materias orgánicas. El aumento de la producción de fitoplanktón influirá en la supervivencia de larvas de peces, y esto influirá en la cantidad y calidad de tales peces en años sucesivos. También está influenciada por la luz la emigración vertical del zooplankton, e indirectamente la de los peces que viven de él.

ESTUDIO DE LA FOTOSÍNTESIS DEL FITOPLANKTON

La reacción clorofílica :



es endotérmica, es decir, hay déficit de energía, déficit que suministra a los organismos la energía luminosa. El producto de la asimilación del carbono es oxígeno libre y, por lo tanto, es la luz, la razón de la presencia mayor o menor de oxígeno en el agua, aparte del oxígeno que proviene de la atmósfera.

Se ha estudiado experimentalmente el efecto de la luz en una serie de botellas de cristal conteniendo agua con fitoplankton, sumergiéndolas a diferentes profundidades y comparándolas, al mismo tiempo, con otra serie semejante de muestras de fitoplankton en botellas no expuestas a la luz para evitar la fotosíntesis. La cantidad de oxígeno consumido del agua de estas botellas no expuestas da la medida de la respiración; esta cantidad sumada al oxígeno producido en las botellas expuestas a la luz, nos da el oxígeno producido por fotosíntesis.

A pocos metros bajo la superficie, el contenido de oxígeno en el agua crecerá como resultado de las actividades fotosintéticas. Con el aumento de la profundidad y, por tanto, disminución de la intensidad de luz, la cantidad de oxígeno va siendo menor hasta llegar a una profundidad en que no hay producción de oxígeno, pues el obtenido por fotosíntesis es consumido por la respiración de las plantas. La profundidad a que esto sucede se llama «profundidad de compensación», puesto que llamamos «punto de compensación» la intensidad luminosa a la que la producción de oxígeno y el consumo del mismo son iguales. La iluminación en este punto es la mínima a la que la planta puede vivir, aunque con esta ilu-

minación la planta no se reproduce. Este punto varía con la especie, así como para una misma especie varía con la temperatura, con la estación del año, el tiempo, la nubosidad, etc.

FENÓMENO DE ABSORCIÓN

Cuando un haz luminoso incide sobre un cuerpo sufre modificaciones su intensidad; una parte se refleja, otra porción se absorbe y otra se transmite a través del cuerpo.

De la parte que penetra en el cuerpo, la energía por unidad de superficie va haciéndose menor en cada sección normal al haz; en parte es difundida en forma de luz en otras direcciones (fenómeno de difusión) y en parte se transforma en otras formas de energía que quedan vinculadas al medio.

Si consideramos un haz de rayos luminosos, paralelos, de longitud de onda λ , que atraviesa una capa de agua, la intensidad de los rayos decrece en la dirección de los mismos, y este decrecimiento es proporcional a la energía I y al espesor de la capa.

Consideremos una capa infinitesimal; tenemos

$$dI_{\lambda} = -\kappa I_{\lambda} dx$$

El coeficiente de proporcionalidad se llama «coeficiente de absorción». Coeficiente, que también podemos definir integrando la anterior ecuación diferencial entre los límites $x=h$, y $x=h+L$; siendo L el espesor de la capa, en la que la energía de la radiación se reduce desde $I_{\lambda,h}$ a $I_{\lambda,(h+L)}$

$$\kappa_{\lambda} = \frac{2,30}{L} [\log I_{\lambda,h} - \log I_{\lambda,(h+L)}]$$

De la unidad de longitud en que esté expresado L depende el valor numérico de este coeficiente. En Oceanografía se emplea como unidad de longitud el metro, por lo que los valores de los coeficientes serán 100 veces mayor que los valores dados en física, donde la unidad es el centímetro.

En este coeficiente de absorción se incluyen también las pérdidas de intensidad luminosa por difusión lateral que tienen lugar contra las moléculas del agua, y, por tanto, este efecto de difusión está relacionado con la estructura molecular del agua.

Interesa conocer en Oceanografía la disminución de intensidad luminosa con la profundidad, y es por eso por lo que en lugar

de utilizar este coeficiente de absorción en que consideramos la disminución de intensidad luminosa en la dirección del rayo luminoso, definimos un nuevo coeficiente semejante al de absorción, pero en el que el espesor de la capa que consideramos no está tomada en la dirección del rayo, sino que es normal a la superficie libre del mar. A este coeficiente, Clarke le llamó «exponente transmisivo»; posteriormente, Pettersson le designó por «coeficiente de extinción», nombre que ha prevalecido a pesar de la confusión que puede originar con el concepto de coeficiente de extinción en física análogo al de absorción que hemos definido, y a pesar de seguirse designando por *absorción* el proceso por el cual la intensidad de radiación se reduce.

Así, pues, como en Oceanografía utilizamos este coeficiente de extinción

$$K_{\lambda} = \frac{2,30}{H} [\log I_{\lambda, z} - \log I_{\lambda, (z+H)}]$$

(tomando profundidades z y $z+H$, a las cuales las intensidades de radiación son $I_{\lambda, z}$ y $I_{\lambda, (z+H)}$) la absorción en el mar deberá ser función de la altura del sol, es decir, depender de la oblicuidad de los rayos, pero esta oblicuidad se reduce por la refracción que sufre el rayo en el agua desde el aire y por efecto de la dispersión. Cuando los rayos solares atraviesan la superficie del agua, el ángulo de refracción aumenta desde O , cuando el sol está en el cenit, a $48,5^{\circ}$ con el sol en el horizonte, por lo que los rayos más oblicuos que penetran en el agua forman un ángulo de menos de 48° con la vertical. A causa de la dispersión y de la pérdida por absorción de los rayos más oblicuos, la radiación que penetra a profundidades medias llegará a ser casi vertical y dentro de amplios límites la medida del coeficiente de extinción será independiente de la altura del sol.

La intensidad luminosa puede expresarse en unidades de energía o en unidades de iluminación. En unidades de energía la expresamos en ergios por unidad de superficie y unidad de tiempo o en calorías grandes o en julios por unidad de superficie y de tiempo. En unidades de iluminación, es decir, en unidades basadas en el poder de la luz para producir sensación visual, se emplearon el metro-bujía = 1 lux = 0,093 pie-bujía. Como la unidad de iluminación se basa en la reacción del ojo humano, no existe relación sencilla entre la energía total de la radiación de las dife-

rentes longitudes de onda y la iluminación correspondiente medida en lux, puesto que el ojo humano no es sensible a la radiación infra-roja del espectro y poco sensible a la violeta, sólo puede establecerse un equivalente mecánico de la unidad de iluminación a determinada longitud de onda. Con iluminación media, la sensibilidad máxima del ojo humano está en una longitud de onda de $0,56 \mu$ y a esta longitud el «equivalente luminoso» es, según las tablas Smithsonianas de 1933

$$1\text{Kc} / \text{cm}^2/\text{hora} = 7750 \text{ lux}$$

Este equivalente luminoso ha de multiplicarse por un factor próximo a 0,15 para obtener la iluminación en lux correspondiente a una intensidad de radiación dada en unidades de energía.

En el mar, la parte infra-roja de la radiación es absorbida en los primeros centímetros, por lo que la energía que penetra a mayores profundidades se concentra en las longitudes de onda a que el ojo humano es más sensible. Por esto, el factor por quien hay que multiplicar el «equivalente luminoso» para obtener la iluminación en lux aumenta con la profundidad.

Se han dado algunas tablas para conversión de unidades de energía en unidades de iluminación, pero dan solamente una relación aproximada, puesto que los factores de conversión dependen de las cualidades de la luz.

Tabla aproximada para conversión de unidades de energía en unidades de iluminación (1)

Profundidad en metros	Energía (Kc/ cm ² /hora				Iluminación (en lux)			
	AGUA OCEANICA		AGUA COSTERA		AGUA OCEANICA		AGUA COSTERA	
	CLARA	MEDIA	MEDIA	TURBIA	CLARA	MEDIA	MEDIA	TURBIA
10	16,1	9,50	1,21	0,450	65000	42000	6800	2600
20	9,35	3,72	0,064	0,012	42000	20000	380	70
50	2,69	0,311			14000	1800		
100	0,450	0,0057			2500	35		
150	0,076				440			

(1) SVERDRUP, FLEMING y JOHNSON: «The Oceans». New York, 1942.

Vemos en esta tabla que existe la misma cantidad de energía a 100 metros en agua oceánica clara que a 10 metros en agua costera turbia. Sin embargo, la iluminación no se corresponde, sino que es mayor a 10 metros en agua costera turbia; la explicación de esto es que en el agua costera a profundidad de 10 metros la intensidad máxima está unida a una longitud de onda de $0,55 \mu$ que es la misma longitud a la que es más sensible el ojo humano, y en agua oceánica a 100 metros la intensidad máxima corresponde a longitud de onda de $0,48 \mu$. También nos da la tabla la misma iluminación a 20 metros en agua oceánica clara que a 10 metros en agua oceánica media y la energía aún cuando tiene valores próximos no son iguales. Se observa asimismo que con la profundidad la iluminación decrece más lentamente que la energía.

La energía luminosa que es absorbida por unidad de volumen en el mar, depende de la que llega a la superficie, de la reflexión y del coeficiente de absorción. Además la disminución de intensidad no se debe únicamente a la radiación que realmente es absorbida (la que se convierte en otra forma de energía), sino también a la luz que es difundida lateralmente.

La radiación que llega, depende principalmente de la altura del sol, de la absorción de la atmósfera y de la nubosidad. La energía que viene del sol es reducida cuando pasa a través de la atmósfera, en parte absorbida por el vapor de agua y por el anhídrido carbónico del aire, y en parte por difusión en las moléculas del aire o del polvo finísimo. En días claros, con el sol alto, un 85 por 100 de la radiación viene directamente del sol y el resto del cielo, pero cuando el sol está bajo, la radiación directa del sol es menor; apenas llega a 60 por 100 de la total cuando el sol está 10° sobre el horizonte. El efecto total de absorción y difusión en la atmósfera depende del espesor de la masa de aire y se expresa por la ecuación

$$I = S e^{-T m a_m}$$

siendo I la energía en $\text{Kc/cm}^2/\text{min.}$ que llega a la superficie cuando es normal a los rayos del sol; m es el espesor relativo de la masa de aire y es igual a 1 cuando la presión es de 760 milímetros y cuando el sol está en el cenit, igual a 2 cuando el sol está 30° sobre el horizonte (seno de $30^\circ = 1/2$) y así sucesivamente; S es la constante solar ($1,932 \text{ Kc/cm}^2/\text{min.}$); T es el factor de turbidez del aire y a_m es $0,128 - 0,054 \log. m$.

Se puede medir por separado la radiación directa del sol y la radiación difusa del cielo; la suma de ambas da la medida total. Cuando los rayos del sol no son normales a la superficie, se obtiene la radiación que llega a ella multiplicando 1 por $\text{sen } h$ (h es la altura del sol).

La medida de la luz diurna es extraordinariamente difícil porque su variabilidad en intensidad y calidad es irregular. Abbot, Fowle y Aldrich (1911, 1922) han realizado medidas de la energía para diferentes longitudes de onda, en días sin nubes, pero con brumas en Washington, en Monte Wilson y Monte Whitney.

En los océanos hay pocas medidas directas aprovechables y es necesario atenerse a los valores medios (cuando se trata de la radiación que llega) dados por fórmulas empíricas. Mosby ha establecido una fórmula por medio de la cual pueden calcularse, anual o mensualmente, los valores de la radiación que llega a una superficie horizontal, si se conocen la altura media correspondiente del sol y la nubosidad:

$$Q = k [1 - 0,071 C] h \text{ (Kc/cm}^2\text{/min.)}$$

siendo C la nubosidad, h es la altura media del sol, el factor k depende de la transparencia de la atmósfera y parece que varía con la latitud, siendo 0,023 en el Ecuador, 0,024 a latitud 40° y 0,027 a latitud 70° . La fórmula de Mosby no es válida para $h > 60^\circ$, pero da resultados correctos si a alturas del sol altas, la altura verdadera es reemplazada por una altura reducida como sigue:

altura verdadera.....	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
altura reducida.....	60°	62°	64°	66°	68°	69°	70°

Los valores comprobados por medio de esta fórmula sólo difieren en un pequeño tanto por ciento de los obtenidos por Kimball por otro método.

Si el sol brilla a través de nubes difusas, la radiación puede ser mayor que con un cielo claro, a causa de la reflexión en las nubes, mientras que en días lluviosos o con cielo nublado la radiación puede reducirse a menos de un 10 por 100 de la de un día claro.

Parte de la radiación se pierde por reflexión en la superficie

del mar. Esta pérdida dependerá de la altura del sol, y debe considerarse por separado la radiación directa del sol y la difusa del cielo. Según Schmidt, la radiación directa que se refleja con el sol a 90°, a 60°, a 30° y a 10° sobre el horizonte, es el 2 por 100, 2,1 por 100, 6 por 100 y 34,8 por 100, respectivamente, y de la difusa se refleja un 17 por 100. Más tarde Powell y Clarke midieron la pérdida por reflexión, encontrando valores acordes con los de Schmidt en días claros, pero no así en días nublados, en los que toda la radiación es difusa; la reflexión entonces es tan sólo el 8 por 100.

La fórmula

$$R = ap + bq$$

nos da el porcentaje: R , de la radiación reflejada en un día claro (siendo p la radiación del sol, q la radiación difusa, y a y b las respectivas pérdidas por reflexión en tanto por ciento).

Porcentaje aproximado de la radiación total que llegando desde el sol directamente y difusa del cielo, es reflejada en un día claro por una superficie horizontal a diferentes alturas del sol (2).

altura del sol....	5°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
R.....	40	25	12	6	4	3	3	3	3

Las tablas que dan las pérdidas por reflexión son aplicables si la superficie del mar está tranquila, pues con la presencia de olas aumenta la pérdida.

El fenómeno de absorción está unido estrechamente al de difusión, que es debido a las partículas en suspensión y a las materias coloreadas disueltas. Por eso, el coeficiente de extinción para las diferentes longitudes de onda varía entre amplios límites de una localidad a otra, y en una misma localidad con la profundidad, puesto que el agua no es homogénea.

(2) SVERDRUP, FLEMING y JOHNSON: *loc. cit.*

MÉTODOS DE MEDIDA Y TRABAJOS REALIZADOS

a) Las primeras medidas importantes de la absorción en la parte visible del espectro se hicieron por medio del disco de Secchi, sumergiendo el disco y observando la profundidad a la que desaparece de la vista. Estas medidas se han comparado con otras más recientes hechas por otros métodos por Poole y Atkins (1929) en el Canal de la Mancha y han obtenido que el coeficiente de extinción de los rayos visibles puede hallarse aproximadamente con la fórmula

$$x = \frac{1,7}{D},$$
 siendo D la profundidad máxima de visibilidad en metros determinada con el disco de Secchi.

b) En la expedición de 1910 del barco noruego «Michael Sars» (3) Helland-Hansen estudió la absorción en el mar por exposición bajo la superficie de placas fotográficas pancromáticas Wralter encerradas en recipientes impermeables. En el agua clara del mar de los Sargazos, a mediodía de un día claro de junio, halló que las placas pancromáticas eran ennegrecidas a grandes profundidades. Una placa expuesta durante cuarenta minutos a una profundidad de 500 metros fué fuertemente ennegrecida; se necesitan ochenta minutos de exposición para impresionar una placa a 1.000 metros, y no hubo impresión a 1.700 metros, aun con una exposición de dos horas. También comprobó que a 500 metros la luz no era completamente difusa, pues las placas expuestas en el fondo de la cubeta fueron más ennegrecidas que las expuestas lateralmente. Empleando filtros observó que el rojo podía percibirse a 100 metros, a 500 el azul, pero no el verde.

Grein (1910, 1914) investigó la absorción en el Mediterráneo con procedimientos análogos. De los resultados obtenidos por él se han calculado coeficientes de extinción, y examinando estos resultados en las tablas adjuntas, se observa la diferente penetración de las diversas partes del espectro, y que a grandes profundidades

(3) MURRAY y HJORT: «The Depths of the Ocean», 1912.

persisten el azul y el violeta o el último solamente; en cambio, la parte roja era absorbida rápidamente.

Resultados de GREIN, de iluminación a varias profundidades en el Mediterráneo. (tomando a 1 metro como 1000) (4)

M	Rojo	Naranja Amarillo	Verde	Azul Verde	Azul	Azul Violeta
5	3,7	2,5	250	250	450	866
10	2,7	2	166	166	437	800
20	0,03	1,2	5,8	21	277	666
50	0,0021	0,032	2,2	2,5	201	200
75		0,008	0,75	2,2	25,6	100
100		0,001	0,03	0,033	5,51	10
200			0,004	0,01	0,04	1
500			0,0016	0,004	0,004	0,1
1000				0,0003	0,0001	0,003
1500						0,00001

Resultados de GREIN, mostrando la proporción de cada región espectral en la luz total a diferentes profundidades, (tomando el total como 1000). (4)

M	Rojo	Naranja Amarillo	Verde	Verde Azul	Azul	Azul Violeta
1	96,7	165,7	165,7	165,7	198,9	207,3
5	0,98	1,18	117,3	117,3	254	508,8
10	0,34	1,06	89,64	89,64	282,2	537,1
20	0,018	1,05	4,68	17,26	279,7	697,2
50	0,0025	0,069	4,53	5,04	486	504
75		0,054	4,73	14,2	193,6	787,5
100		0,0052	1,56	1,73	346,2	650,8
200			3,18	8,06	37,16	952
500			12,27	30,63	30,8	920,5
1000				74,6	37,31	881,1
1500						(1000)

(4) ATKINS: *Solar Radiation and its Transmission through Air and Water*. «Conseil Permanent International pour l'Explor. de la Mer-Journal du Conseil», vol. VII. núm. 2, agosto 1932.

*Valores de los coeficientes de extinción calculados de los datos
obtenidos por GREIN. (4)*

M	Rojo	Naranja Amarillo	Verde	Verde Azul	Azul	Azul Violeta
1-5	1,4	1,49	0,346	0,346	0,199	0,036
6-10	0,063	0,044	0,082	0,082	0,006	0,016
11-20	0,450	0,051	0,335	0,207	0,045	0,018
21-50	0,089	0,121	0,032	0,071	0,011	0,040
51-75		0,055	0,043	0,005	0,082	0,028
76-100		0,083	0,129	0,168	0,061	0,092
101-200			0,021	0,012	0,049	0,023
201-500			0,003	0,003	0,008	0,008
501-1000				0,005	0,007	0,007
1001-1500						0,011

La irregularidad de los coeficientes hallados nos dice que estas medidas tienen solamente un valor cualitativo, pues no es posible que el agua sea tan heterogénea.

c) Para medidas cuantitativas, Knudsen (1922) empleó espectrofotómetros, pero el trabajo fué laborioso y no lo suficientemente sensible en grandes profundidades. Hasta 25 metros de profundidad como máximo Gruber y Oberdorfer obtuvieron medidas en agua dulce empleando el fotómetro de cuña de tinta neutra.

d) Birge y Juday (1921) estudiaron la penetración de la radiación en lagos de agua dulce, empleando un aparato análogo a la pila de Melloni; consta de un receptor que contiene 20 pequeños pares termoeléctricos que pueden ser bajados en el agua a la profundidad deseada y con un artificio que hace que esté alternativamente expuesto al sol y oculto de él. La corriente engendrada es medida por las desviaciones de un galvanómetro Arsonval situado en la costa y unido al receptor por medio de un cable aislado.

Este método se aplicó en el lago Senecca y se halló una gran diferencia entre el agua pura y la del lago, diferencia que se debe, probablemente, a la presencia de fango fino y de alguna materia orgánica «suspensoides», puesto que había muy poco «color» en el agua. Posteriormente extendieron estas investigaciones a otros lagos americanos (1920-30-31); haciendo los pares termoeléctricos de bismuto y plata, que dan casi el doble de fuerza electromotriz que los primitivos de hierro y constantan, y sustitu-

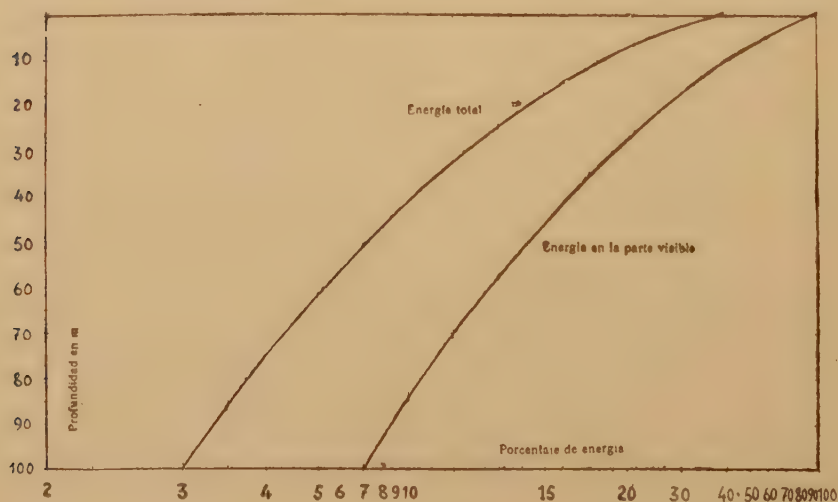
(4) ATKINS: *loc. cit.*

yendo el galvanómetro por un milivoltímetro seis veces más sensible que los usados primitivamente (en una lancha).

De las cifras dadas por ellos se deduce que en los lagos más transparentes solamente un tercio de la radiación total, como máximo, penetra a un metro, y solamente en la mitad aproximadamente de los lagos estudiados ocurre que la cuarta parte de la radiación incidente alcanza dicha profundidad. Como una gran parte de la energía luminosa absorbida se convierte en calor, resulta que la parte superficial es la que más se calienta. Sólo en los lagos muy claros penetra algo de la radiación total en la línea isotérmica y calienta lentamente el agua más profunda.

Este efecto es mencionado por Birge y Juday, y ha sido también considerado por Helland-Hansen (1931) y por Atkins y Poole (1932).

e) La absorción puede también deducirse midiendo con una termopila la energía que llega a profundidades diferentes, o calculando estas energías a partir de los coeficientes de extinción conocidos. Para el cálculo de la energía que llega a una profundidad dada es necesario conocer la intensidad de la radiación para diferentes longitudes de onda, esto es, el espectro de energía. La pérdida de intensidad ha de ser calculada para cada longitud de onda y la energía total que llega a una profundidad dada se deduce por medio de integración.



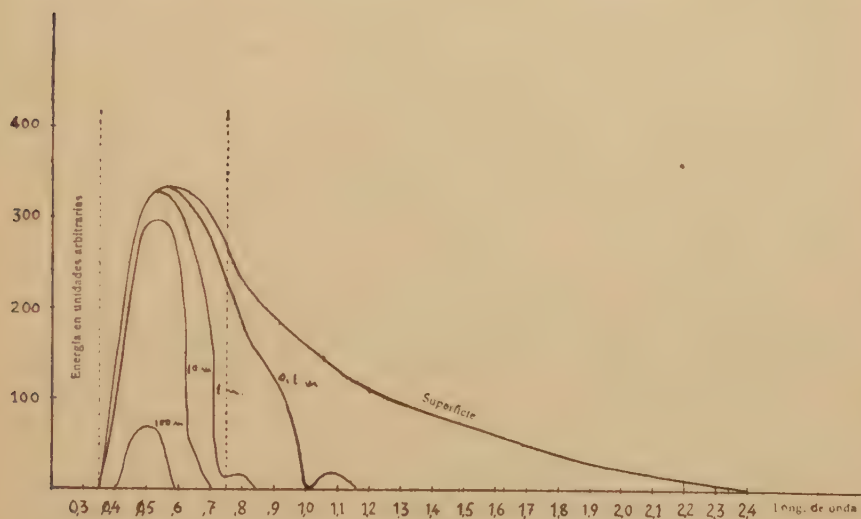
(Fig. 1)

El espectro de la energía que atraviesa la superficie del mar está representada aproximadamente por las curvas de la figura 1, que representan el porcentaje de energía total y de energía en la parte visible del espectro a diferentes profundidades (5).

La figura 2 da la representación del espectro de energía de la radiación directa del sol y difusa del cielo que penetra en la superficie del mar y del espectro de energía en agua pura a profundidades de 0,1, 1, 10 y 100 metros.(5).

La energía total en una profundidad dada es proporcional al área encerrada entre el eje de abscisas y la respectiva curva espectral.

La espuma y las burbujas de aire aumentan considerablemente la absorción en las capas superficiales. Este aumento de absorción es lo que se llama «pérdida en la superficie». A esta pérdida se debe el que la mayor parte de la luz sea absorbida muy cerca de



(Fig. 2)

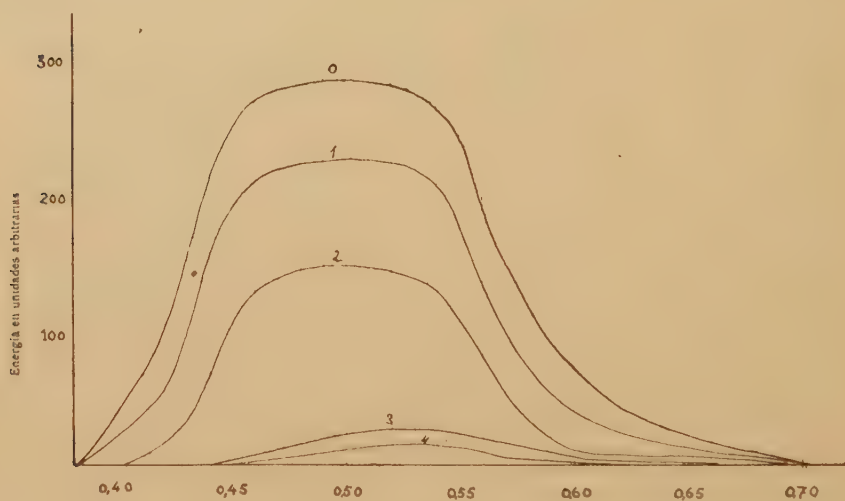
la superficie y que la que penetra a ciertas profundidades sólo es considerable cuando el agua es excepcionalmente clara.

La absorción de energía está representada en la curva de la figura 3, en la que vemos el espectro de energía en diferentes tipos de agua a una profundidad de 10 metros. A esta profundidad la

(5) SVERDRUP, FLEMING y JOHNSON: *loc. cit.*

energía máxima en el agua más clara se halla en la parte verde-azul del espectro, mientras que en el agua costera turbia el máximo ha sido desplazado hacia la parte amarillo-verdosa. Este desplazamiento se ve con más detalle en la curva de la figura 4.

Se han hecho trabajos utilizando una termopila Mole y un milivoltímetro sensible. La termopila puede montarse de manera que por rotación de un disco pueda exponerse a la luz o cubrirse con una tapa opaca o con filtros para luz azul, roja o amarilla. Al sumergir el aparato a profundidades mayores de la línea isotérmica, hay que esperar por lo menos cinco minutos hasta lograr que la montura del aparato quede en equilibrio térmico con el agua que la rodea.



(Fig. 3)

Espectro de energía a profundidad de 10 m. en diferentes tipos de agua:

0.—Representa energía espectral en agua pura.

1.— » » » » » oceánica clara.

2.— » » » » » » media.

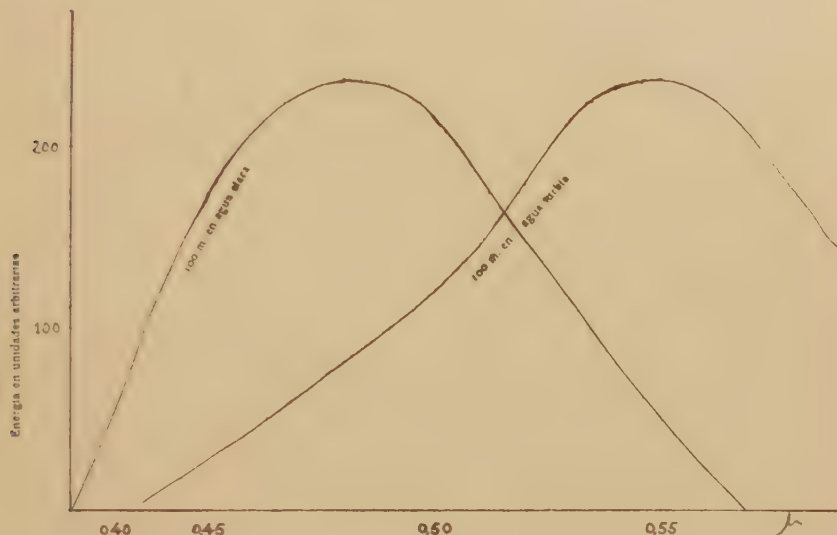
3.— » » » » » costera media.

4.— » » » » » » turbia. (6)

De los trabajos llevados a cabo en numerosos lagos por Knudsen y posteriormente por Birge y Juday, se deduce que los lagos sumamente coloreados absorben la luz azul muy rápidamente, e

(6) SVERDRUP, FLEMING y JOHNSON: *loc. cit.*

incluso la verde y la amarilla en algunos casos, y que la transparencia máxima está en el rojo (tal en los lagos Helena, Picent, Mary, Mige). Más corrientemente, la máxima transparencia corresponde al amarillo. En los lagos de aguas más claras, la máxima transmisión está en el verde, pero nunca en el azul, como pasa en alta mar.



(Fig. 4)

Desplazamiento del máximo del espectro de energía hacia la parte amarillo-verdosa en agua costera turbia con relación al máximo de energía en agua más clara que corresponde a la parte verde azul del espectro. (7)

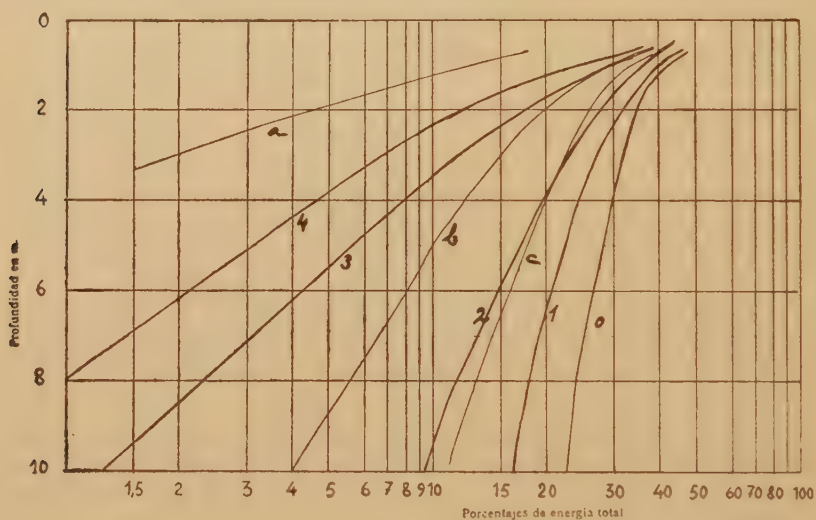
f) El método más rápido y exacto para la determinación del coeficiente de extinción en diferentes partes del espectro lo proporciona el empleo de células fotoeléctricas. Las determinaciones se llevan a cabo bajando a diferentes profundidades una célula fotoeléctrica encerrada en un recipiente impermeable y provista de una serie de filtros coloreados, y observando desde cubierta la corriente fotoeléctrica por medio de un galvanómetro sensible. Las medidas deben hacerse en días con sol o en días nublados, pero no en días con nubes irregulares, pues las variaciones rápidas de luz que ocurren en estos días pueden, naturalmente, ser causa de

(7) SVERDRUP, FLEMING y JOHNSON: *loc. cit.*

error. Para determinar el porcentaje de la radiación que alcanza a cierta profundidad es necesario hacer lecturas simultáneas de la radiación incidente.

Es interesante medir exactamente la absorción en bandas estrechas del espectro.

Shelford y Gail en 1922 hicieron exploraciones en la Ensenada Puget, empleando una célula con gas, sensible solamente a la luz azul, y un galvanómetro. Trabajaron a profundidades de 120



(Fig. 5)

Porcentajes de energía total a diferentes profundidades en agua pura (curva 0); oceánica clara (curva 1); oceánica media (curva 2); costera media (curva 3) y costera turbia (curva 4), obtenidas de los coeficientes de extinción. Porcentajes de energía total en aguas del Mediterráneo: Venecia (curva a); Trieste (curva b) y Capri (curva c). (8)

metros como máximo. Desde entonces ha publicado Shelford, solo o con Kunz, diversos trabajos. Otros investigadores no consideran la célula con gas como instrumento satisfactorio para medidas cuantitativas (Campbell y Ritchie en 1929, Atkins en 1931), y el mismo Shelford reconoce que solamente las mejores células con gas pueden ser de confianza para lecturas repetidas, cuando dan una gran corriente, y recomienda las células de vacío, que muestran una proporcionalidad directa entre la intensidad de luz y la corriente. Atkins y Poole han trabajado también en esta célula.

(8) SVERDRUP, FLEMING y JOHNSON: *loc. cit.*

En el lago de Mendoza, Shelford y Kunz (1926) realizaron medidas empleando células con gas de rubidio y cesio, juntamente con filtro.

Para las medidas de la corriente fotoeléctrica, Poole introdujo el método telefónico potenciométrico en el que se han hecho algunas modificaciones posteriormente. La corriente fotoeléctrica se mide por la caída de potencial a través de una gran resistencia, empleando un teléfono como indicador de punto nulo (9).

A Poole se debe también un artificio con el que se cuentan las oscilaciones de una lámpara de neón, cuyo número por unidad de tiempo es proporcional a la intensidad de la luz.

g) Y, por último, se pueden realizar las medidas por un método fotoquímico, que consiste en exponer a la luz tubos que contienen oxalato de uranio, cuerpo que se descompone más o menos, según la luz que recibe; la cantidad que queda en los tubos se halla por análisis volumétrico con permanganato potásico. Este método ha sido poco empleado (se utilizó en el Canal de la Mancha), pues si bien da buenos resultados en medidas relativas con buena iluminación, ocurre con luz débil que se descompone muy poco oxalato, y el análisis ha de hacerse con sumo cuidado para no cometer grandes errores. Es, por tanto, más delicado y menos rápido que el método eléctrico. Conviene emplear la lámpara de neón cuando la luz está variando rápidamente.

Los trabajos de Utterback (1936) y de Jorgensen y Utterback (1939) dan numerosos datos acerca de los coeficientes de extinción en el mar para radiaciones de diferentes longitudes de onda. Utterback ha hecho muchas observaciones en las aguas poco profundas, cercanas a las islas, y en el Estrecho de Juan de Fuca, estudiando aguas costeras, así como en las aguas oceánicas de Washington. De sus datos se deduce que en agua oceánica más clara, los coeficientes de extinción comparados con los del agua pura fueron diez veces mayores los valores máximos, cuatro o cinco los medios y solamente el doble los mínimos. En las aguas costeras fueron: los máximos, treinta y cuatro veces mayores; dos veces los medios y dieciséis veces los mínimos. Los coeficientes de extinción variaron mucho en las diferentes partes del espectro, y fueron ma-

(9) ATKINS: *loc. cit.*

yores para longitudes de onda corta que para las largas. La transparencia mayor se encuentra para agua oceánica en una longitud de onda de $0,48 \mu$ (parte azul del espectro), mientras que en el agua costera corresponde a longitudes de onda de $0,53 \mu$ o mayores (parte verde o amarillo-verdosa del espectro). Vemos, pues, que la absorción del agua de mar varía entre límites muy amplios.

La transparencia del agua puede expresarse mediante el porcentaje de radiación que penetra una capa de un metro. Las fluctuaciones del porcentaje son aproximadamente las mismas en agua costera y oceánica, y los valores máximos en el agua oceánica se aproximan a los mínimos de las costeras. Se complican además estas condiciones por las grandes variaciones que hay en dirección vertical, motivadas por capas poco absorbentes que alternan con otras de absorción grande.

Poole y Atkins (1929) y Poole (1936) investigaron en el Canal de la Mancha. En 1933 trabajó Clarke en las costas Este de Estados Unidos, y Joung y Gordon operaron en las del Sur de California en 1939. Todos han obtenido resultados semejantes, aun tratándose de regiones tan diferentes: que la absorción es mayor en aguas costeras que en aguas oceánicas, que la absorción es mayor en el extremo rojo del espectro que en el azul y que la luz azul penetra a profundidades muy grandes en agua clara, mientras que en agua turbia son más penetrantes la verde y la amarilla.

James y Clarke (1939) (10), además de establecer la forma general de las curvas de absorción para muestras de agua de mar de varias procedencias, analizaron los efectos de los «suspensoides» y del «color», y compararon los valores de la absorción obtenidos en el laboratorio, con las medidas de penetración de la luz, hechas sumergiendo un fotómetro al mismo tiempo y en el mismo lugar de donde se tomaban las muestras.

Definiendo como agua de mar «pura» la obtenida del océano en alta mar y filtrada con filtro Berkefeld fino, compararon su absorción con la del agua destilada, para ver cuál de las sales en solución o qué otra sustancia de las que atraviesan el filtro ejerce efecto apreciable en la transparencia general, y si tienen alguna acción selectiva para la luz; hicieron también comparaciones con

(10) CLARKE y JAMES: *Laboratory Analysis of the Selective Absorption of Light by Sea Water*. «Woods Hole Oceanogr. Instit.», contr. 193, 1939.

agua de mar artificial, preparada con la misma fórmula que la empleada por Hulburt:

NaCl.....	26,40
KCl.....	0,75
MgCl ₂	3,15
MgSO ₄	2,05
CaSO ₄	1,33
	33,70
H ₂ O	966,30
	1000,00 gr.

Hallaron que la absorción del agua de mar «pura» era prácticamente idéntica que la del agua destilada. También el agua de mar artificial tenía una absorción prácticamente idéntica a la del agua destilada, excepto en las longitudes de onda más cortas, donde la absorción fué mayor, probablemente a causa de impurezas.

Es de notar que a las muestras de agua destinadas a medidas de absorción en el laboratorio añadieron HgCl₂ para prevenir acciones bacterianas que podrían causar cambios importantes en la transparencia. Pero la absorción por metro de las muestras fué mucho mayor que el valor medio por metro para la absorción observada en el mar. Este hecho, que se puede atribuir a la acción del HgCl sobre las partículas orgánicas, demuestra la necesidad de observaciones «in situ» para un exacto conocimiento de la iluminación submarina.

La diferencia entre la absorción de muestras sin filtrar de agua de mar y de agua destilada es causada principalmente por «suspensoides» en alta mar; se puede, pues, asegurar que las aguas oceánicas contienen siempre polvo y que en aguas costeras existen además de los «suspensoides» el «color» y que cada uno ejerce una alta acción selectiva con la mayor absorción en las longitudes de onda más corta.

Clarke y James nada nos dicen de la naturaleza de las partículas que llaman «color», pero Kalle (1938) ha hallado que existen pigmentos amarillos solubles en agua, cuya composición no ha sido estudiada completamente y las llama «sustancia amarilla», y que aunque abundan más en agua costera existen también en alta mar, él opina que representa esta sustancia amarilla un producto metabólico totalmente estable relacionado con el fitoplankton.

Parece ser que una población densa de fitoplankton tiene influencia en la disminución de la transparencia y que las partículas

en suspensión y la «sustancia amarilla» disuelta son la razón del mayor aumento de absorción.

Por diferentes investigadores han sido obtenidas un gran número de medidas de los coeficientes de absorción, pero los resultados no concuerdan exactamente. Así, a una longitud de onda de $0,48 \mu$ en la que la absorción es muy pequeña, los valores hallados son :

Hufner y Albrecht, 1891....	0,048
Ewan, 1895.....	0,030
Aschkinass, 1895.....	0,020
Sawyer, 1931.....	0,015

A causa de tales discrepancias la absorción en agua pura no se conoce con exactitud, pero por los trabajos de unos y de otros es evidente que el agua es muy transparente para radiaciones de longitud de onda entre $0,4 \mu$ y $0,6 \mu$ que es la parte visible de los rayos en el violeta, azul, verde y amarillo del espectro. Es menos transparente para luz roja y anaranjada, y en el infra-rojo la transparencia es prácticamente nula, pues casi toda (99,5 por 100) es absorbida en una capa de pocos centímetros de espesor. La tabla adjunta contiene valores de los coeficientes de absorción determinados por Sawyer por un metro de agua pura para longitudes de onda comprendidos entre $0,32 \mu$ y $0,65 \mu$ y los obtenidos por Collins para longitudes de onda mayores de $0,65 \mu$ (11).

Longitud de onda en μ	Coef. de absorción por metro	Longitud de onda	Coefficiente	Longitud	Coefficiente
0,32	0,58	0,60	0,125	1,40	1600
0,34	0,38	0,62	0,178	1,50	1940
0,36	0,28	0,65	0,210	1,60	800
0,38	0,148	0,70	0,84	1,70	730
0,40	0,072	0,75	2,72	1,80	1700
0,42	0,041	0,80	2,40	1,90	7300
0,44	0,023	0,85	4,12	2,00	8500
0,46	0,015	0,90	6,55	2,10	3900
0,48	0,015	0,95	28,8	2,20	2100
0,50	0,016	1,00	39,7	2,30	2400
0,52	0,019	1,05	17,7	2,40	4200
0,54	0,024	1,10	20,3	2,50	8500
0,56	0,030	1,20	123,2		
0,58	0,055	1,30	150,0		

(11) SVERDRUP, FLEMING y JOHNSON: *loc. cit.*

OBSERVACIONES PARA OBTENER MEDIDAS DE ILUMINACIÓN SUBMARINA Y DE TRANSPARENCIA

Para obtener las medidas de la transparencia ha de tenerse muy en cuenta las conclusiones del «Consejo Internacional para la Exploración del Mar» en la reunión celebrada en Copenhague en 1937, en donde se dieron normas: para el empleo y elección de filtros de color; sobre las correcciones necesarias de las pérdidas por reflexión; sobre la limitación de iluminación máxima, según las células empleadas; cómo ha de ser el equipo eléctrico, es decir, la elección de células fotoeléctricas y de instrumentos para la medida de la corriente y cómo ha de ser el equipo submarino. Todas estas normas tienen por objeto el unificar los resultados.

La luz superficial varía durante el curso de una serie de observaciones submarinas; por eso se ha acordado dar la iluminación a una cierta profundidad como el porcentaje de la luz superficial en el mismo momento, y, por tanto, se han de hacer medidas simultáneas con dos fotómetros, uno expuesto en la superficie y otro submarino, de los que previamente hallaremos la proporción de sensibilidad para luz roja, verde y azul.

Debemos recordar que el fotómetro está tipificado en radiación perpendicular y como la oblicuidad de la luz aumenta la pérdida por reflexión, se reduce la sensibilidad. Para corregir esta pérdida empleamos como factor de corrección 1,06 que es suficientemente exacto para un cielo uniforme cuando el sol está a una altura de 30°.

Se tendrá cuidado de que el fotómetro submarino esté siempre fuera de la sombra del barco, así como de anotar el ángulo (aproximado) que forma el soporte del cable con la vertical, puesto que si el barco es rápidamente arrastrado y este ángulo es grande se introduce un error apreciable al calcular la profundidad. El error es aproximadamente proporcional al cuadrado del ángulo de inclinación (un ángulo de 10° representa un error aproximado del 1 por 100; de 20°, un 4 por 100; etc.).

El hallar valores de la transparencia del agua de mar a partir de medidas de la luz del día que llega a diferentes profundidades es excesivamente laborioso, sobre todo en aguas estratificadas en que puede variar muy rápidamente con la profundidad, por lo que es necesario hacer medidas en muchas profundidades (mejor con-

tinuamente). Además, las medidas de la luz que penetra pueden hacerse solamente en profundidades donde la luz residual tenga una intensidad fácil de medir y está, por tanto, limitada a las condiciones de la luz superficial, es decir, a las condiciones meteorológicas, hora, día, etc.; en latitudes del Norte durante el invierno, la luz superficial puede ser tan pobre que los valores de la transparencia sean despreciables, excepto en las capas más superficiales; lo mismo sucede bajo hielo, sobre todo si está cubierto de nieve o donde hay una capa superficial muy turbia.

Así, pues, la medida de la transparencia a partir de la luz del día nos da idea de la iluminación submarina, pero no de la transparencia propiamente dicha a diferentes profundidades.

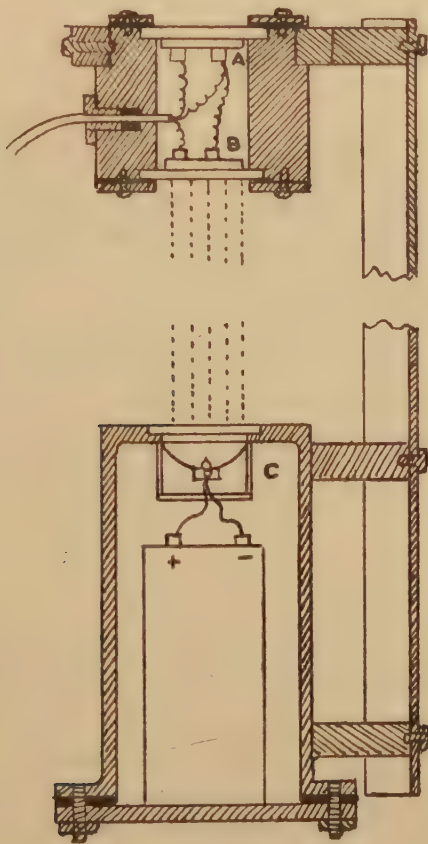
Para obtenerla hay que recurrir a medidas de laboratorio, con los inconvenientes encontrados por Clarke y James, que ya hemos expuesto, o medirla «in situ», para lo que se emplea el aparato descrito por Petterson (12); es un foco de luz eléctrica escasamente divergente que incide sobre una célula Lange después de pasar dos veces a través de una columna de agua de un metro de espesor. Con este aparato pueden observarse pequeñas variaciones de la transparencia, imperceptibles por medidas de la luz del día que penetra en el agua y puede así fácilmente localizarse la presencia de bancos de partículas en suspensión que se encuentran a diferentes niveles, bajando este aparato a ellos, y observando los cambios continuos de la foto-corriente de la célula.

Hay un instrumento para medir casi simultáneamente la luz del día que penetra a diferentes profundidades y la transparencia del agua a estas mismas profundidades (13); el esquema da idea de él: consta de un fotómetro submarino modificado, que tiene dos células; una (A), colocada de manera que pueda medir la iluminación vertical, como se emplea corrientemente en el fotómetro submarino, y otra (B), situada debajo de la anterior y dirigida hacia abajo, mide al mismo tiempo la luz que, enviada por un foco eléctrico, pasa a través de una columna de agua de un metro de espesor antes de incidir sobre ella. (Fig. 6.)

(12) PETTERSSON: *A transparency-meter for Sea-Water*. «Medd. fr. Göteborgs Högsk. Oceanogr. Inst.», núm. 7, K. V. V. S. Handl. B. 3, 1934.

(13) ATKINS, CLARKE, PETTERSSON, POOLE, UTTERBACK y ANGSTROM: *Measurement of Submarine Daylight*. «Conseil Perm. Inter. pour l'Explor. de la Mer-Journal du Conseil», vol. XIII, núm. 1, 1938.

Debe tenerse cuidado de que la luz emitida por el foco sea de composición espectral análoga a la de la luz del día y se recomienda el empleo de un filtro V G 9 de un milímetro de espesor con tal propósito.



(Fig. 6)

Deben también tomarse las mismas precauciones que las recomendadas para trabajar con el fotómetro submarino.

Para hallar los coeficientes de extinción de las medidas obtenidas, se empleará la fórmula aproximada :

$$I = 1,9 \quad I_a e^{-\mu}$$

donde I es la foto-corriente para la profundidad estudiada ; I_a es la foto-corriente observada en el aire, tomada al comienzo de la

serie de medidas; μ es el coeficiente de extinción para la luz empleada que atraviesa la columna de agua de un metro.

Hay que tener en cuenta la caída en la tensión de la célula con el tiempo de observación para hacer en I la corrección pertinente.

NUESTRO PROPÓSITO

Como en aguas españolas nada se ha hecho para el estudio de este fenómeno, que, a nuestro juicio, tiene especial interés, sobre todo en algunas zonas, tales como en las rías gallegas, cuyas aguas son del tipo estratificado y en las aguas del estrecho de Gibraltar, donde el interés radica en la mezcla de agua oceánica y de agua mediterránea, nuestro propósito al hacer este trabajo es resumir los hechos en diferentes lugares, para comenzar el estudio de la transparencia en nuestras aguas, estudio que será objeto de otra u otras comunicaciones.

*Instituto Español de Oceanografía.
Departamento de Física Oceanográfica*

BIBLIOGRAFÍA

- ANGSTRÖM, A.—*On the standardization of photoel. cells by means of sun rad.* «Stat. Met.—Hydr. Ans. Meddel., Ser. Uppsater». 1937.
- ATKINS.—*On the penetration of light into sea water.* «J. Mar. Bio. Ass. United Kingdom.» 1926.
- y POOLE.—*The uranly oxalate method of daylight photometry and its photoelectric standardisation.* «Proc. Roy. Soc. Dublin Soc.» 1929.
- *Poole the photo-chem. and photo-el. measurement of submarine illumination.* «J. Mar. Biol. Ass.» (509). 1930.
- *Solar Ration and its Transmission through Air and Water.* «Conseil Perm. Inter. pour l'Explor. de la Mer.» Journal du Conseil. Vol. II, núm. 2. 1932.
- BERTEL.—*Description d'un spectrographe sous-marin pour les recherches qualitatives de la lumière à différentes profondeurs de la mer.* «Ann. de l'Inst. Océan.» 1911.
- BIRGE y JUDAY.—*Penetr. of sol. radiation into lakes.* «J. Opt. Soc. Am.» 1928.
- *Penetr. of sol. radiation into lakes.* «Bull. Nat. Res. Nat. Acad. Washington.» 1929.

- BIRGE y JUDAY.—*Transmission of solar radiation by the waters of inland lakes.* «Tr. Wisc. Acad.» 1929.
- *A second report on solar rad. and inland lakes.* «Tr. Wisc. Acad.» 1930.
- *A third report on solar rad. and inland lakes.* «Tr. Wisc. Acad.» 1931.
- *Solar rad. and inland lakes. Fourth report.* «Tr. Wisc. Acad.» 1932.
- *Coefficient of absorption in var. lake waters.* «Tr. Wisc. Acad.» 1918.
- CLARKE.—*Light penetr. in the Western North Atlantic and its applic. to biol. probl.* «Rapp. Cons. expl. mer. vol. CI. 1936.
- *Observations on the penetration of day light into mid-Atlantic and coastal waters.* «Biol. Bull.» Vol. 65. 1933.
- *Seasonal changes in the intens. of subm. illum. of Woods Hole.* «Ecology», 1938.
- ATKINS, PETTERSSON, POOLE, UTTERBACK y ANGSTRÖM.—*Measurement of submarine Daylight.* «Journal du Conseil perm. Intern. p. explor. mer.» Vol. XIII, núm. 1. 1938.
- y JAMES.—*Laboratory Analysis of the Selective Absorption of light by Sea Water.* «Woods Hole Ocean. Institution.» Cont. 193. 1939.
- COLLINS.—*Change in the infra-red absorp. spectr. of water with temp.* «Phys. Rev.» 1925.
- DIETRICH.—*Die absorption d. Strahlung im Wasser.* «Ann. d. Hydr.» 1939.
- ERIKSON.—*Light intensity at diff. depths in lake water.* «J. Opt. Soc. Amer.» 1933.
- EWALD.—*Über eine Methode zur Messung des Lichtes im Wasser.* «Int. Rev. Hydr.» 1910-11.
- EWEN.—*The rate of which solar-rad. penetrates the surface of lakes.* «Month. W. Rev.» 1928.
- GANZ.—*Über die Absorptionsspektren v. Wasser.* «Ann. Phys.» 1936.
- GREIN.—*Über die Absorption des Lichtes im Seewasser.* «Ann. de l'Institut Océan. Mónaco.» 1913.
- HULBURT.—*The penetr. of ultraviolet light into pure water and sea water.* «J. Opt. Soc. Am.» 1928.
- *On the penetr. of daylight into the sea.* «J. Opt. Soc. Am.» 1932.
- JAMES y BIRGE.—*A labor. study of the absorpt. of light by lake waters.* «Tr. Wisc. Acad.» 1938.
- JOHNSON y LILJEQUIST.—*On the angular distrib. of submarine daylight and the total submar. illumination.* «Svenska Hydr. Biol. Komm. Skr. Ny Ser. Hydrog.» 1938.
- JORGENSEN, WITHELM y UTTERBACK.—*Periodic changes in spec-*

- tral scattering and spectral transmission of daylight in tidal water. «*Jour. Marine Research.*» Vol. II. 1939.
- JOUNG y GORDON.—*Report on the penetration of light in the Pacific Ocean off the coast of southern California.* «*Scripps Inst. Oceanogr. Univ. Calif. Bull.*» Vol. IV. 1939.
- MURRAY y HJORT.—*The depths of the Ocean.* 1912.
- OBERDORFER.—*Ein neuer Apparat zur Lichtmessung unter Wasser.* «*Arch. f. Hydr.*» 1928.
- OSTER y CLARKE.—*The penetr. of the sea, green and viol. comp. of daylight into atlantic waters.* «*J. Opt. Soc. Am.*» 1935.
- PEARSALL y HEWITT.—*Light penetration into fresh water II.* «*J. Exp. Biol.*» 1933.
- y ULLYOTT.—*Light penetration into fresh water I. Thermion.* «*J. Exp. Biol.*» 1933.
- y ULLYOTT.—*Light penetr. into fresh water III.* «*J. Exp. Biol.*» 1934.
- PETTERSSON.—*A transparency-meter for sea-water.* «*Göteborg, Medd. Högsk. Ocean. inst. n.º 7*» y «*Göt. Vetensk. Samh. Handl. Ser. B3*». 1934.
- *Das Licht im Meer.* «*Biolk. Beibl. der Met. Z.*» 1936.
- *The transparency of sea water.* «*Rapp. Cons. expl. mer.*» Vol. 101, part. 2.^a 1936.
- y POOLE.—*Measurements of submarine daylight.* «*M. fr. Göt. Högsk. Ocean. Inst.*» 1937.
- PIETENPOL.—*Selective absorption in the visible spectrum of Wisconsin lake waters.* «*Tr. Wisc. Acad.*» 1918.
- POOLE.—*On the photoel. measurement of submarine illumination.* «*Proc. Roy. Soc. Dublin.*» 1925.
- y ATKINS.—*On the penetr. of light into seawater.* «*J. Mar. Biol. Assoc.*» 1926.
- y ATKIUS.—*Photo-electr. measurement of submar. illum. through the veer.* «*J. Mar. Biol. Assoc. United Kingdom.*» 1929-937.
- y ATKIUS.—*The photo electr. measurement of submar. illum. in offshore waters.* «*Cons. Per. Inter. explor. mer-Rapp. et Proc.-Verb.*» Vol. 101, pt. 2.^o 1936.
- y ATKIUS.—*The penetr. into the sea of light.* «*Proc. Roy. Soc. London.*» 1937.
- *Measurement of submarine daylight.* «*Nature*». 1937.
- POWELL y CLARKE.—*The reflection and absorption of daylight at the surface of the ocean.* «*J. Opt. Soc. Am.*» 1936.
- SAUBERER y ECKEL.—*Zur Methodik der Strahlungsmessungen unter Wasser.* «*Int. Rev. Hydr.*» 1938.
- SAUBERER y RUTTNER.—*Die Strahlungsverhältnisse der Binnengewässer.* Leipzig. 1941.
- SAWYER.—*The spectr. absorpt. of light by pure water and Bay of Fundy water.* «*Canad. Biol. and Fish.*» 1931.

- SCHMIDT.—*Ausstrahlung u. Reflexion an Wasserflächem.* «Met. Z.» 1916.
- SECCHI.—*Esperim. per determinare la trasparenza del mare.* «In : Cialdi, Sul moto ondoso del mare.» Roma. 1866.
- SHELFORD y GAIL.—*A study of light-penetration into seawater made with the Kunz Photoelectric cell with particular reference to the distribution of plants.* «Publ. Puget Sound Biol. Stat.» 1922.
- *Die Messung des Eindringens des Lichtes in Wasser mit photoelectrischen Zellen.* «In : Abderhalden, Hdb. d. biol. Arbeitsmeth. IX.» 11-2. 1929.
- SOMMA (ALBERTO).—*La trasparenza dell'acque nel Golfo di Napoli.* «Bull. de l'Inst. Océan.» (551). 1930.
- *La transparence des eaux marines de Naple étudiée avec une source lumineuse.* «Bull. de l'Inst. Océan.» (533). 1930.
- *Expériences sur la transparence des eaux marines.* «Bull. de la Soc. d'Océan. de France.» (59). 1931.
- *Su talune osservazioni di trasparenza delle acque marine nel golfo di Salerno.* «Bull. de l'Inst. Océan.» (608). 1932.
- *Ancora sullo studio della trasparenza delle acque marine.* «Bull. de l'Inst. Océan.» (635). 1933.
- *On measurement of the penetration of light into the sea.* «Conseil Perm. Inter. pour l'Explor. de la Mer.» Pub. de Circonstance, número 761.922.
- STENZ.—*Über die Transmission der Sonnenstrahlung in den Wiggry Seen.* «Gerl. Beitr.» 1937.
- SUKAMOTO.—*Transparency of sea water for rad. in the extreme ultraviolet.* «Comptes Rendus.» 1927.
- UTTERBACK.—*Spectral band of submar. solar radiation in the North Pac. and adjacent inshore waters.* «Rapp. Cons. explor. Mer.» Vol. 101, part. 2.^a, núm. 4. 1936.
- VERCELLI.—*Misure subcquee di radiazione in alcuni laghi alpini.* «Boll di Pesca, Pisc. e Idrob.» 1939.
- WHITNEY.—*Transmission of solar energy and the scattering prod. by susp. in lake waters.* «Tr. Wisc. Acad.» 1938.
- *Contin. solar rad. measurement in Wisconsin Lakes.* «Tr. Wisc. Acad.» 1938.

